



## DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA Y DE AMBIENTES ANTRÓPICOS DURANTE LOS ÚLTIMOS 4000 AÑOS EN EL NORTE DE ETIOPÍA (TIGRAY)

*Geomorphological and human environmental dynamics during the last 4000 years in Northern Ethiopia (Tigray)*

M. J. Machado<sup>(1)</sup>, A. Pérez-González<sup>(2)</sup> y G. Benito<sup>(3)</sup>

(1) Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. E-mail: machado@ccma.csic.es; fax: 913944845

(2) Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.

(3) CSIC-Centro de Ciencias Medioambientales, Serrano 115 bis, 28006 Madrid.

**Resumen:** En la región de Axum-Adwa, localizada en la provincia del Tigray, el análisis estratigráfico de varios rellenos de valle ha permitido la caracterización para los últimos 5000 años de varios episodios de degradación, que se identifican por un incremento en el transporte y producción de sedimentos desde las laderas al fondo de los valles, así como de fases de estabilización, con formación de suelos. Aunque el clima se presenta como el principal factor de cambio ambiental a largo plazo (a partir del análisis de secuencias estratigráficas y evidencias paleoclimáticas), la acción antrópica juega igualmente un papel importante en la degradación ambiental, particularmente en una región con una tradición agrícola establecida desde tiempos históricos (2000 años). En particular para los últimos 100 años de registro, la información obtenida mediante la aplicación de técnicas geomorfológicas y geoarqueológicas puede y debe ser complementadas con la información resultante de la percepción de los propios agricultores de estos procesos de erosión así como de los posibles factores que los desencadenan.

**Palabras clave:** Reconstrucción de paleoambientes, Holoceno, Rellenos de fondo de valle, Etiopía.

**Abstract:** This paper aims to present the role of geomorphological and geoarchaeological techniques in the understanding of soil degradation, through time and space. In the case of the Axum-Adwa area, located at the province of the Tigray, the stratigraphic analysis of several infilled valleys, enabled the characterisation, for the last five millennia of degradation episodes, where there was an increase of sediment yield from the slopes into the valleys, and stability phases. Although climate can be pointed out as the main long-term driving factor of environmental change in the area, human actions play an important role in environmental degradation, particularly in a region with a long established agriculture background. The analysis of natural and human environments through time and space, enables therefore the identification, on one hand of the bio-physical variables controlling soil erosion processes, and on the other the possible socio-economic causes that may have led to soil degradation (e.g. land tenure, farming practices). Regarding the latter, and in particular for the last 100 years record, the information gathered through the use of geomorphological and geoarchaeological approaches, can and should be complemented by the one concerning farmer's perception of those processes and possible triggering factors.

**Key words:** Environmental reconstruction, Holocene, Infilled valleys, Ethiopia.



Machado, M. J., Pérez-González, A. y Benito, G. (2001). Dinámica geomorfológica y de ambientes antrópicos durante los últimos 4000 años en el norte de Etiopía (Tigray). *Rev. C. & G.*, 15 (3-4), 131-137. © SEG. AEQUA. GEOFORMA Ediciones

## 1. Introducción

El análisis de los ambientes naturales y antrópicos a través del tiempo y del espacio permiten, por un lado la identificación de las variables biofísicas que controlan los procesos de erosión, y por otro, la determinación de las posibles causas que pueden conducir a la degradación del suelo (cambios en la propiedad del suelo, introducción de nuevas prácticas agrícolas y ganaderas, etc.).

Durante la última década, la geomorfología y las técnicas geomorfológicas se han utilizado en estudios de conservación de suelos y agua en la región subsahariana, principalmente para identificar (Virgo y Munro, 1978; Bhan, 1990) y cuantificar los procesos activos de erosión de suelos (Hurni, 1985, 1989; Grunder, 1990). Sin embargo, la erosión en sistemas tan complejos necesita analizarse desde una perspectiva temporal más amplia, especialmente cuando la variable clima juega un papel relevante. La necesidad de estudiar los ambientes naturales y antrópicos a través del tiempo y del espacio resulta incluso más importante en regiones como el Tigray, con una tradición agrícola de más de 2000 años, siendo una de las más antiguas del continente africano. El estudio de las secuencias de relleno de valle, mediante técnicas geomorfológicas, geoarqueológicas, sedimentológicas y geocronológicas (TL, radiocarbono convencional y AMS) permiten no sólo la reconstrucción de las principales fases de degradación, sino también la identificación y evaluación de las posibles causas naturales y/o socioeconómicas. Para determinar el papel de los factores socioeconómicos en la erosión, y especialmente en los últimos 100 años, se utilizan técnicas basadas en el RRA y PAR (*Rapid Rural Appraisal* e *Participatory Rural Appraisal*, Chambers, 1992). El estudio de la dinámica actual se ha completado con la estimación de las actuales tasas de erosión, obtenidas tanto a partir de simulaciones de lluvia como a partir de la cubicación de los rellenos en pequeños embalses.

En la región de Axum-Adwa, la combinación de estas tres aproximaciones permite la distinción, desde el principio del Siglo XX, de la existencia de un episodio reciente de degradación de suelos (desde la década de los 60 según las evidencias geomorfológicas), y dos episodios de deforestación (a finales de los años 30 y durante los años 70, a partir de entrevistas semi-estructuradas realizadas a los agricultores).

## 2. Marco geográfico y geológico

Localizada en el sector septentrional de la Altiplanicie Etíope, la región en estudio (Figura 1)

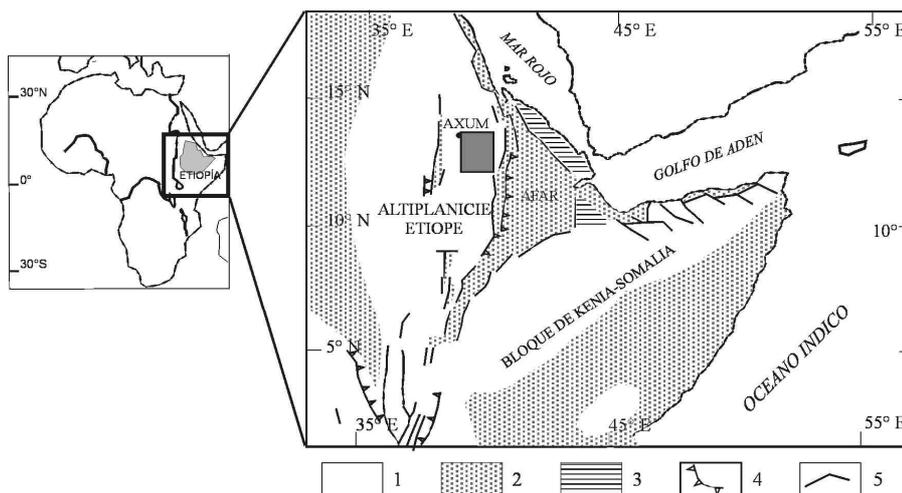


Figura 1: Localización de la zona de estudio (Norte de Etiopía). 1. Plataforma levantada, 2. Depresiones: cuencas y grabens, 3. Horst, 4. Estructura monoclinal, 5. Falla  
 Figure 1. Location of the study area (Northern Ethiopia). 1. Uplifted plateau, 2. Depressions: basins and grabens, 3. Horst, 4. Monoclyne, 5. Fault

presenta un contexto geológico similar al resto del territorio etíope, comprendiendo un basamento complejo de edad Precámbrica, compuesto por rocas con metamorfismo de bajo grado (Mohr, 1962), extremadamente plegadas, sobre el cual se han depositado, en clara discordancia, secuencias detríticas de edad Permo-Triásico. Culminan estas series las coladas basálticas del Terciario que muestran, al igual que los materiales del Paleozoico Superior, una estructura subhorizontal.

Desde el punto de vista geomorfológico, los principales rasgos del modelado tienen un importante control litológico. Así, el sector norte del área de estudio se caracteriza por la existencia de extensas superficies culminantes (por encima de los 2200 m), construidas sobre las series de areniscas y de las coladas basálticas, así como por el desarrollo de laderas complejas, altamente extendidas. Hacia sur, en dirección al río Weri (tributario del Atbara, uno de los tres afluentes del Río Nilo), y en clara relación con el predominio de las series metamórficas del Precámbrico, predominan los valles estrechos y morfologías de aristas, así como laderas convexas de escasa longitud y con pendientes de medias a elevadas (15°-38°).

Dado su emplazamiento en términos zonales, el principal mecanismo que controla el clima, tanto en Etiopía como en la provincia del Tigray, es la denominada Zona de Convergencia Intertropical, que no es sin embargo continua, ni en el espacio ni en el tiempo (Griffiths, 1972). En efecto, la ITCZ presenta marcados desplazamientos estacionales que se encuentran asociados con los flujos de aire de carácter monzónico: el monzón nororiental (enero-marzo), que afecta sobre todo el sur de Etiopía, y el monzón sudoccidental (en los meses veraniegos), que afecta la totalidad del territorio y que es responsable de precipitaciones de fuerte intensidad. Además de su carácter bimodal, otra característica importante del régimen de precipitaciones tanto de Etiopía como del área de estudio, es la marcada variabilidad interanual de las lluvias, donde se destacan largos periodos con valores de precipitación inferiores a la media (Gamachu, 1977).

### 3. Estratigrafía de los valles de fondo plano

El análisis estratigráfico de varios perfiles de relleno de valle, permite la caracterización para los

últimos 5000 años, de una secuencia de elevada resolución donde se identifican las principales fases de degradación y estabilidad ocurridas en el Norte de Etiopía (Machado *et al.*, 1998). Estas fases se desarrollan de forma generalizada en los 1000 km<sup>2</sup> de la zona de estudio, y pueden también correlacionarse con otras áreas de Etiopía e incluso del Este y del Noreste de África.

Los indicadores de cambios paleoambientales se obtienen utilizando técnicas geomorfológicas, sedimentológicas y geocronológicas. Estos cambios pueden ser analizados dentro de un contexto a largo plazo de cambios climáticos, históricos y socio-económicos. Esto es posible gracias a que la zona de estudio se emplaza en el corazón del antiguo Imperio Axumita, desarrollado desde el siglo I al VIII de nuestra era (Butzer, 1981), y que presentó su apogeo entre los siglos IV y VI. En las secuencias de relleno de valle, los suelos enterrados se han interpretado como fases de estabilización, mientras que las unidades de agradación representan periodos de degradación del sistema, donde se produce una elevada cantidad de aporte de sedimentos especialmente de las laderas. Los numerosos artefactos de la civilización Axumita, principalmente cerámicas de distintos periodos, han contribuido a la interpretación y correlación de las secuencias estratigráficas, a las que hay que sumar las 31 dataciones realizadas en distintas unidades utilizando técnicas de termoluminiscencia (TL) y de radiocarbono tanto con la técnica estándar como mediante AMS. Todo esto ha permitido identificar tres periodos de mayor humedad (ca. 4000-3500 años BP, 2500-1500 años BP y 1000-960 años BP) durante los cuales se desarrollaron horizontes edáficos, y dos periodos de degradación (ca. 3500-2500 años BP y 1500-1000 años BP), bajo condiciones climáticas de mayor aridez (ver Tabla 1), durante los cuales se produjo un incremento de los aportes de sedimento desde las laderas a los valles (Machado *et al.*, 1998). Los horizontes edáficos (B) desarrollados durante los periodos de mayor humedad presentan un carácter vértico con una estructura en bloques angulares y algunas *slickensides* en las faces de los agregados.

El registro estratigráfico de los últimos 1000 años revela importantes cambios en las secuencias de relleno de valle con un incremento en la frecuencia de los periodos de agradación (seis fases

principales; ver Tabla 1), y periodos de estabilidad más cortos asociados con suelos pobremente desarrollados (ca. A.D 1400-1430, 1440-1460, e inicios y mediados del siglo XVIII). Esta secuencia de agradación que comprende los últimos 1000 años tiene una potencia total superior a los 13 m, mientras que durante los anteriores 3000 años se observan 4 m de agradación. Otra característica importante, además de la potencia, esta relacionada con las condiciones de deposición, ya que predomina el carácter fluvial en las fases de degradación más recientes, con barras de gravas y niveles de arenas (Machado *et al.*, 1998). Este desarrollo de facies fluviales, puede interpretarse tanto como resultado de un aumento de la competencia fluvial (descripción de mayor número de crecidas «relámpago» en documentos históricos), como también debido a la severa degradación de las laderas, originándose una mayor cantidad de aportes de sedimento a los cauces fluviales.

Igualmente, las evidencias estratigráficas sugieren una tendencia general hacia condiciones climáticas más secas desde ca. 1000 años BP, interrumpidas por pulsos más húmedos cuya corta duración previene la regeneración del sistema y la formación de suelos bien desarrollados. Un cambio principal en las condiciones ambientales en el área de estudio pudo estar desencadenado por un periodo seco a principios del siglo XVII. En este periodo el registro sedimentológico muestra depósitos de gravas coluviales de hasta 150 cm de potencia, que incluyen bloques con marcas producidas por la acción del arado (punta de hierro) y numerosos fragmentos de cerámica, que indican una intervención humana importante durante este periodo, caracterizado por la progresiva ocupación de tierras marginales. Esta presión humana en el ambiente está relacionada con condiciones climáticas más secas que forzaron el cultivo de dichas tierras marginales así como el sobrepastoreo de una vegetación ya estresada por la sequía. La información histórica recogida de las crónicas Imperiales, Actos Eclesiásticos y de la descripción de numerosos viajeros Europeos y Árabes (Pankhurst, 1985) indica frecuentes hambrunas y sequías durante el siglo XVII, en particular entre 1611 y 1636 AD (incluyendo un periodo de sequía de tres años entre 1625 y 1627), y otros cuatro periodos más secos en 1252-1274, 1540-1567, 1772-1828 AD, culminan-

do con la «Gran Hambruna Etiópe» de 1888-1892. Condiciones de clima más seco durante los siglos XVII y XVIII se registraron no sólo en el Este de África, sino también en la totalidad del sector este-oeste de la zona del Sahel (Nicholson, 1980).

#### 4. Cambios ambientales durante el Siglo XX

Durante los últimos 100 años, la información recopilada mediante la utilización de técnicas geoarqueológicas y geomorfológicas, complementadas por las entrevistas a agricultores, relacionadas con cambios en el modelado, indican un incremento en la degradación de los suelos de las laderas y, fundamentalmente para los últimos 30 años, de los fondos de valle. También ha sido posible identificar los cambios más recientes de las condiciones ambientales de la zona (ver Tabla 1).

En la región de estudio, se han producido dos importantes intervenciones antrópicas recientes. Por un lado, la deforestación a gran escala ocurrida entre 1936-1939 durante el periodo de ocupación Italiana, y por otro, la reforma rural de 1976 (Rahmato, 1984) implantada por el Régimen del *Derg* que trajo el cambio de los derechos de propiedad y modificaciones en el tamaño de las parcelas (redistribución de la tierra y cese de los derechos hereditarios y de la propiedad privada). Las leyes sobre la propiedad cambiaron de nuevo en 1991, con la caída del *Derg*, a la vez que se introducen nuevas políticas económicas relacionadas con la liberalización de los mercados y con la mejora de las técnicas agrícolas. El aumento de la fragmentación de la tierra (Omiti *et al.*, 1999) y el todavía muy bajo *input* tecnológico (maquinaria y técnicas de conservación), acceso a créditos bancarios, así como los bajos índices de utilización de abonos (orgánicos y/o minerales), han favorecido, en conjunto, la tendencia hacia el aumento de la degradación de los suelos en Etiopía.

El periodo de degradación actual se puede percibir de forma inequívoca en las fotografías aéreas de 1963. Las barras de grava y bloques activos depositados en un sistema de morfología *braided*, revela la dinámica presente de la zona, relacionada con la naturaleza efímera del caudal de los ríos y de los frecuentes eventos de crecidas «relámpago». Los hidrogramas de crecida caracterizados por picos con

Tabla 1: Principales periodos húmedos y de degradación durante los últimos 5000 años en el Tigray (Norte de Etiopía). Según Machado et al., 1998, 2000  
 Table 1. Major wetter periods and degradation episodes, during the last 5000 years in Tigray (Northern Ethiopia). After Machado et al., 1998, 2000

Episodios		Factores		
Años BP	AD	Condiciones ambientales	Climáticos	Acción antrópica
4000 - 3500		Formación de suelos	Mas húmedo	
3500 - 2500		Periodo de degradación, dominio de la erosión de laderas	Mas árido	-
2500 - 1500	Axumita Reciente (AD 100-350)	Formación de suelos	Mas húmedo	+
1500 - 1000	VI/VII - XI	Periodo de degradación, dominio de la erosión de laderas	Mas árido	+
1000 - 960	XI - XII	Formación de suelos	Mas húmedo	+
	XII/XIII - XIV/XV	Periodo de degradación, dominio de la erosión fluvial		+
	XV (1400/30, 1440/60)	Formación de suelos (poco desarrollados)	Húmedo	+
	XVI - inicio XVII	Periodo de degradación, dominio de la erosión de laderas	Mas árido	++
	1738 - 1756	Formación de suelos (poco desarrollados)	Húmedo	++
	XVIII/XIX - presente: XIX - 1930's	Periodo de degradación: Laminas de arenas y gravas de crecidas	Mas árido	+++
	1936-39			1ª deforestación a gran escala
	1960's	Inicio de los procesos de abarrancamiento e incisión lineal de fondo de valle		
	1970's			2ª deforestación a gran escala; cambios en la propiedad (tamaño y derechos).
	1991 - actual	Depósitos de barras de gravas con morfología <i>braided</i>		Mayor fragmentación de la tierra.

elevada magnitud y corta duración, pueden estar igualmente relacionados con la presencia de suelos pobremente desarrollados, dispersos y de escasa potencia, así como con la escasa vegetación de las laderas. En una cuenca de 6,7 km<sup>2</sup> localizada en la parte norte de la zona de estudio, se han estimado tasas de erosión entre 17-21 ton/ha/año para el periodo 1985-1993 a partir de la cubicación del relleno de un embalse para uso agrícola (Machado *et al.*, 1995). Se han obtenido valores semejantes de tasas de erosión, 22 ton/ha/año, a partir de simulaciones de lluvia realizadas en 16 parcelas (Machado *et al.*,

1996) con distintas características litológicas, de cobertera vegetal, morfología de laderas y pendiente. El desarrollo de una actividad erosiva muy elevada produce también una degradación de los fondos de valle (Figura 2) donde se observa una actividad de abarrancamiento muy intensa (de hasta 4 m de profundidad). El estudio de fotografías aéreas tomadas en 1963 sugieren que la incisión de los fondos de valle se produjo con posterioridad al inicio de los años 60, y que dicha actividad erosiva elevada se extiende igualmente a las laderas. En la parte norte de la zona de estudio, la incisión y los procesos de



Figura 2: Vista de un abarrancamiento en un fondo de valle (10 km al este de Adwa). La incisión alcanza los 4 m de profundidad  
Figure 2. Gully entrenchment (up to 4 m in depth) in a infilled valley (10 km eastwards of Adwa)

abarrancamiento se han podido datar gracias a las relaciones observadas con distintas construcciones y obras lineales. En concreto, las principales incisiones se han producido con posterioridad a la construcción de una carretera empedrada en 1963, durante la época de Haile Selassie. Esta también coincide con un incremento en la variabilidad anual de la precipitación en la zona, dando lugar a sequías severas y a periodos de hambruna. La información relacionada con la evolución de la cubierta vegetal y de las prácticas agrícolas en particular puede proporcionar nuevos datos sobre la degradación ambiental en estas zonas de elevada sensibilidad.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto INCO-DEV nº ERBIC18CT970139 «Sustainable use of Natural Resources in Rural Systems of Eastern African Drylands (Ethiopia, Kenya, Tanzania). Strategies for Environmental Rehabilitation». Los autores desean igualmente expresar su agradecimiento a los comentarios y sugerencias de Carlos Sancho Marcén.

### Referencias bibliográficas

Bhan, C. (1990). Spatial analysis of potential soil erosion risk in Welo region, Ethiopia: a geomorphological evaluation. En:

*African Mountains and Highlands* (B. Messerli & H. Hurni eds.). Africans Mount. Ass., 1, 79-86.

Butzer, K.W. (1981). Rise and fall of Axum, Ethiopia: a geoarchaeological interpretation. *American Antiquity*, 46(3), 471-495.

Chambers, R. (1992). Participatory Rural Appraisals: past, present and future. *Forests, Trees and People Newsletter*, 15/16. FAO.

Gamachu, D. (1977). Aspects of climate and water budget in Ethiopia. Addis Ababa Univ. Press. 71pp.

Griffiths, J.F. (1972). Ethiopian Highlands. En: *World Survey of Climatology, Vol.10 «Climates of Africa»* (J. F. Griffiths ed). College Station, Texas, 369-388.

Grunder, M. (1990). Soil conservation in Ethiopia. En: *African Mountains and Highlands* (B. Messerli & H. Hurni eds.). Africans Mount. Ass., 1, 87-99.

Hurni, H. (1985). Erosion-productivity-conservation systems in Ethiopia. En: *Soil Conservation and Productivity* (I. Pla Sentis ed). IV International Conference on Soil Conservation, Maracay, Venezuela. 654-674.

Hurni, H. (1889). Rainfall, erosivity and isoerodent map of Ethiopia. Soil Conservation Research Project. *Research Report*, 15, Univ of Bern, Switzerland

Machado, M.J., Pérez-González, A. & Benito, G. (1995). Reconstrucción de ambientes naturales y antrópicos en la región de Axum (Tigray, Norte de Etiopía). En: *Reconstrucción de Paleoambientes y Cambios Climáticos Durante el Cuaternario* (T. Aleixandre & A. Pérez-González eds.), Monografía nº3, C.S.I.C., 163-174.

Machado, M.J., Pérez-González, A. & Benito, G. (1996). Geomorphology and soils. En: *Rehabilitation of Degraded*

- and Degrading Areas of Tigray, Northern Ethiopia* (E. Feoli ed.), EU Final Report. 65-95.
- Machado, M.J., Pérez-González, A. & Benito, G. (1998). Paleoenvironmental changes during the last 4000 yr in the Tigray, Northern Ethiopia, *Quaternary Research*, 49, 312-321.
- Machado, M.J., Pérez-González, A. & Benito, G. (2000). The role of geomorphology and geoarchaeology in understanding land degradation (Tigray, Northern Ethiopia). En: *Sustainable Development of Dryland Areas of East Africa* (E. Feoli, D. Pottier & Zerihun Woldu eds.). E.C. Directorate General XII, Science, Research and Development, 63-67.
- Nicholson, S.E. (1980). Saharan climates in historic times. En: *The Sahara and the Nile* (M. A. J. Williams & H. Faure eds.). A. A. Balkems, Rotterdam, 173-200.
- Mohr, P.A. (1962). *The geology of Ethiopia*. Univ. Coll. Addis Ababa press, Addis Ababa, 268pp.
- Omiti, J.M., Parton, K.A., Sinden, J.A. & Ehui, S.K. (1999). Monitoring changes in land-use practices following agrarian de-collectivisation in Ethiopia. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 72, 111-118.
- Pankhurst, R. (1985). *The history of famine and epidemics in Ethiopia prior to the Twentieth Century*. Relief and Rehabilitation Commission, Addis Ababa,
- Rahmato, D. (1984). *Agrarian Reform in Ethiopia*. Scandinavian Institute of African Studies, Uppsala, Sweden, 105 pp.
- Virgo, K.J. & Munro, R.N. (1978). Soil and erosion features on the Central Plateau Region of Tigray, Ethiopia. *Geoderma*, 20, 131-157.

*Enviado el 25 de septiembre de 2001*  
*Aceptado el 15 de octubre de 2001*